

This Page Is Inserted by IFW Operations  
and is not a part of the Official Record

## **BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images may include (but are not limited to):

- BLACK BORDERS
- TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- FADED TEXT
- ILLEGIBLE TEXT
- SKEWED/SLANTED IMAGES
- COLORED PHOTOS
- BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS
- GRAY SCALE DOCUMENTS

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning documents *will not* correct images,  
please do not report the images to the  
Image Problem Mailbox.**

# PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 09-258135

(43)Date of publication of application : 03.10.1997

(51)Int. Cl.

G02B 27/28

(21)Application number : 08-088774

(71)Applicant : FUJI ELELCTROCHEM CO LTD

(22)Date of filing : 18.03.1996

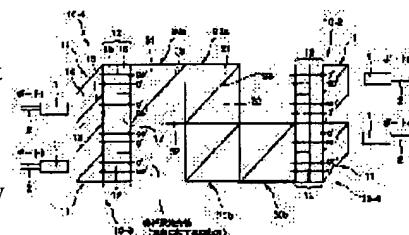
(72)Inventor : IMURA TOMOKAZU  
SUZUKI YOICHI  
TOKUMASU TSUGIO

## (54) OPTICAL CIRCULATOR

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide an optical circulator of four ports with a low loss and high isolation by using an inexpensive, small-sized and easily manufactur-able polarizing beam splitter(PBS).

SOLUTION: Four pieces of respective terminal units 10-1 to 10-4 are constituted so that non-reciprocal parts 12 mutually turning the inside out are arranged in parallel on triangular prisms 13 and parallelogram prisms 14 of a lower bottom surface of a first PBS 11, and upper bottom surfaces of the PBSs of respective units become input/output ports of light. Second PBSs 20a, 20b are arranged between the terminal units becoming a pair so that a polarizing separation film 23 become parallel, and compensating PBSs 30a, 30b are arranged between the second PBSs and one side terminal units 10-1, 10-4. Since leakage light components occurring in respective optical elements are reflected by the compensating PBSs to be emitted to the direction different from the coupling direction of the port, and to be attenuated further when they transmit through, the high isolation is obtained.



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平9-258135

(43) 公開日 平成9年(1997)10月3日

(51) Int. Cl.<sup>6</sup>

G 0 2 B 27/28

識別記号

庁内整理番号

F I

G 0 2 B 27/28

技術表示箇所

A

審査請求 未請求 請求項の数 5 F D (全 14 頁)

(21) 出願番号 特願平8-88774

(22) 出願日 平成8年(1996)3月18日

(71) 出願人 000237721

富士電気化学株式会社

東京都港区新橋5丁目36番11号

(72) 発明者 井村 智和

東京都港区新橋5丁目36番11号 富士電気化学株式会社内

(72) 発明者 鈴木 洋一

東京都港区新橋5丁目36番11号 富士電気化学株式会社内

(72) 発明者 徳増 次雄

東京都港区新橋5丁目36番11号 富士電気化学株式会社内

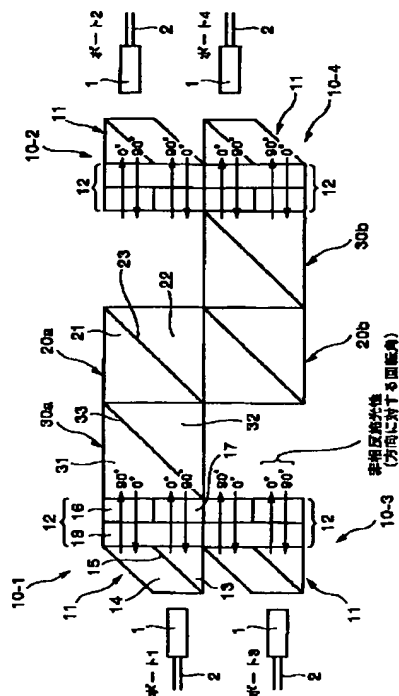
(74) 代理人 弁理士 松井 伸一

(54) 【発明の名称】 光サーキュレータ

(57) 【要約】

【課題】 安価で小型で製作容易な偏光ビームスプリッタ (PBS) を用いて低損失かつ高アイソレーションな4ポートの光サーキュレータを提供すること

【解決手段】 4個の各端子ユニット10-1~10-4は、第1のPBS11の下底面の三角プリズム13と平行四辺形プリズム14に、互いに表裏を逆にした非相反部12が並列に配置され、各ユニットのPBSの上底面が光の入出力ポートとなる。対となる端子ユニット間に、第2のPBS20a、20bを偏光分離膜23が平行になるように配置し、第2のPBSと、一方の端子ユニット10-1、10-4との間に補償用PBS30a、30bを配置する。各光学素子で発生した漏洩光成分は、補償用PBSで反射されてポートの結合方向と異なる方向に出射したり、透過する際にさらに減衰されるので、高アイソレーションを得る。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 直角二等辺三角プリズム(13)と、狭角が45度の平行四辺形プリズム(14)の一面とで偏光分離膜(15)を挟んで一体化された第1の複合偏光ビームスプリッタ(11)と、

直線偏光が1つの面からもう1つの面へ通過する際に偏光方位を90度回転させ、それと逆方向へ通過する際にその偏光方位を回転させないようにした所定の寸法形状の非相反部(12)とを用い、

前記第1の複合偏光ビームスプリッタを構成する下底面の三角プリズムと平行四辺形プリズムに、互いに表裏を逆にした前記非相反部を並列に配置して4個の端子ユニット(10-1, 10-2, 10-3, 10-4)を構成し、

前記非相反部が対向するようにして2個の前記端子ユニット(10-1と10-2)と、他の2個の前記端子ユニット(10-3と10-4)をそれぞれ所定の距離をおいて配置し、

前記対となる端子ユニット間に、それぞれ2つの直角二等辺三角プリズム(21, 22)を偏光分離膜(23)を挟んで一体化された第2の複合偏光ビームスプリッタ(20a, 20b)を、両偏光分離膜(23)が平行になるように配置し、

かつ前記第2の複合偏光ビームスプリッタと、一方の端子ユニット(10-1, 10-4)との間に、逆方向の光の透過を遮断したり、光路を変更する補償部材を配置したことを特徴とする光サーキュレータ。

【請求項2】 前記補償部材が、2つの直角二等辺三角プリズム(31, 32)を偏光分離膜(33)を挟んで一体化された複合偏光ビームスプリッタ(30a, 30b)であることを特徴とする請求項1に記載の光サーキュレータ。

【請求項3】 前記補償部材が、ガラス偏光子(40a, 40b)であることを特徴とする請求項1に記載の光サーキュレータ。

【請求項4】 前記補償部材が、複屈折板(45a, 45b)であることを特徴とする請求項1に記載の光サーキュレータ。

【請求項5】 請求項1~4のいずれかにおいて、隣合う2個の前記端子ユニットの構成要素の一部が共通の部品からなることを特徴とする光サーキュレータ。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、光通信システムなどに用いられる4ポートの光サーキュレータに関する。

## 【0002】

【従来の技術】4ポートの光サーキュレータとしては特開平5-34633号公報に記載された構成が代表的である。これは非相反部の両側に複屈折板を備え、この2個の複屈折板にそれぞれ2個の端子モジュールを結合し

て4ポート回路としている。

【0003】ここでは2個の複屈折板による常光と異常光の光路を分離する機能と、非相反部の非相反性を組み合わせることで、ポート1の入力光がポート2から出力し、ポート2の入力光がポート3から出力し、ポート3の入力光がポート4から出力し、ポート4の入力光がポート1から出力するという4ポート光サーキュレータの機能を実現している。

## 【0004】

10 【発明が解決しようとする課題】従来の光サーキュレータでは常光・異常光を分離する偏光分離素子として複屈折板を用いているために、常光ビームと異常光ビームの分離距離を十分に大きくするためには複屈折板の厚みを相当大きくしなければならず、そのために光サーキュレータが大型で高価になるという問題があった。複屈折板として例えばルチル単結晶を用いる場合、その最大分離距離に対する厚みの比は約1:10なので、10ミリメートルの分離距離を確保しようとするならば、複屈折板の厚みは100ミリメートル必要となる。

20 【0005】また、常光ビームと異常光ビームの分離距離が複屈折板への入射角度によって変化する特性があるために、複屈折板と入出力ポートとの機械的な配置関係を高精度にし、入射角度を高精度に一定に保つ必要がある。したがって光サーキュレータの組立・調整が面倒になる。

【0006】そこで複屈折結晶を使用せずに、偏光ビームスプリッタを偏光分離手段および光路決定手段として用いることが考えられる。偏光ビームスプリッタは製作容易で安価で小型である。しかし偏光ビームスプリッタの消光比があまり高くないことから、従来、このタイプで低損失かつ高アイソレーションの光サーキュレータを実現することができなかった。

【0007】本発明は、上記した背景に鑑みてなされたもので、その目的とするところは、上記した問題を解決し、安価で小型で製作容易な偏光ビームスプリッタを用いて低損失かつ高アイソレーションの4ポート光サーキュレータを提供することにある。

## 【0008】

40 【課題を解決するための手段】上記した目的を達成するため、本発明に係る4ポート光サーキュレータは、直角二等辺三角プリズムと、狭角が45度の平行四辺形プリズムの一面とで偏光分離膜を挟んで一体化された第1の複合偏光ビームスプリッタと、直線偏光が1つの面からもう1つの面へ通過する際に偏光方位を90度回転させ、それと逆方向へ通過する際にその偏光方位を回転させないようにした所定の寸法形状の非相反部とを用い、前記第1の複合偏光ビームスプリッタを構成する下底面の三角プリズムと平行四辺形プリズムに互いに表裏を逆にした前記非相反部を並列に配置して4個の端子ユニットを構成する。そして、前記非相反部が対向するように

して2個の前記端子ユニット(10-1と10-2)と、他の2個の前記端子ユニット(10-3と10-4)をそれぞれ所定の距離をおいて配置する。さらに、前記対となる端子ユニット間に、それぞれ2つの直角二等辺三角プリズムを偏光分離膜を挟んで一体化された第2の複合偏光ビームスプリッタを、両偏光分離膜が平行になるように配置する。そしてさらに、前記第2の複合偏光ビームスプリッタと、一方の端子ユニットとの間に、逆方向の光の透過を遮断したり、光路を変更する機能を有する補償部材を配置した(請求項1)。

【0009】そして、前記補償部材としては、2つの直角二等辺三角プリズムを偏光分離膜を挟んで一体化された複合偏光ビームスプリッタを用いたり(請求項2)、ガラス偏光子を用いたり(請求項3)、複屈折板を用いて構成することができる(請求項4)。

【0010】さらに、上記した各種の構成を前提とし、隣り合う2個の前記端子ユニットの構成要素の一部を共通の部品から構成すると好ましい(請求項5)。

【0011】上記構成にすると、順方向については、端子ユニットの複合偏光ビームスプリッタで入射光をP偏光とS偏光に分離し、非相反部でひとつの偏光は90°偏波面を回転させ、他方は偏波面を回転させない。これにより第2の複合偏光ビームスプリッタには同一の偏波面を持つ偏光が入射される。ここでそれと垂直な偏波成分(漏洩光成分)は除かれる。そして、順方向の光は、その第2の複合偏光ビームスプリッタで透過または反射して出射して、出射側の端子ユニットに入射する。その二つの光は、一方は偏波面を回転せず、他方は偏波面を90°回転する。これで出射側の端子ユニットの第1の複合偏光ビームスプリッタでは偏波合成され、偏光依存性なく入射ポートから出射ポートに結合される。

【0012】そして、出射側の端子ユニットの非相反部での偏波回転誤差によって生じた漏洩光成分は、その出射側の端子ユニット内の第1の複合偏光ビームスプリッタの偏光分離膜で上記とは逆に反射、透過することで、出射ポートのない方向に漏洩光が出射され、出射ポートには結合しない。

【0013】また複合偏光ビームスプリッタで生ずる漏洩光成分は、入射側のポートに結合する逆方向の光路を進む際に、少なくとも2回減衰させられる。よって、2乗の減衰効果が発揮され、たとえ入射側のポートに結合されても、問題がないレベルとなる。

【0014】また、補償部材として複屈折板を用いた場合には、逆方向に進む漏洩光成分の一部をシフトさせ、その光路を変更するので、入射側の端子ユニットからはポートのない方向に出射されることになり、入射側のポートに結合しないか仮に結合したとしても、わずかな量となる。このように各光学素子で発生する漏洩光成分をそれぞれ補償部材等で取り除くことで、高アイソレーションが得られる。よって高性能の光サーキュレータとな

る。

【0015】

【発明の実施の形態】図1は、本発明に係る4ポート光サーキュレータの実施の形態の一例の構成を示している。同図に示すように、4つのポート1~4に対応する4つの端子ユニット10-1、10-2、10-3、10-4を備えるとともに、4つの複合偏光ビームスプリッタ20a、20b、30a、30bとで構成されている。各ポートは、先端にカップリングレンズ1がついた光ファイバ2により構成されている。そして、各部の具体的な構成は、以下のようになっている。

【0016】[各端子ユニット10の構成]4個の端子ユニット10-1、10-2、10-3、10-4は、基本的には同一構成のものを用い、その向き等を変えて実装する。従って、各部の説明の際に、それらを区別する必要のない時は、端子ユニット10と記す。各端子ユニット10は、第1の複合偏光ビームスプリッタ(以下、「第1のPBS」とする)11と、表裏逆特性の2つの系を含んだ非相反部12とで構成されている。

【0017】各第1のPBS11は、直角二等辺三角プリズム13と、狭角が45度の平行四辺形プリズム14の一面とで偏光分離膜15を挟んで一体化された片台形に構成されている。そして、その第1のPBS11の上底面に光ファイバ2のレンズ1が結合され、また、第1のPBS11の下底面に非相反部12が近接配置されている。

【0018】非相反部12は、第1のPBS11の下底面を2分割した平面形状からなる2つの1/2波長板16、17と、第1のPBS11の下底面とほぼ同一の平面形状からなるファラデー回転子18と、このファラデー回転子18を厚み方向に磁気飽和させる永久磁石とから構成されている。本例では、第1のPBS11の下底面側にファラデー回転子18を配置する。そして、ファラデー回転子18の表面(第1のPBS11との接合面と反対側)に積層するように、2つの1/2波長板16、17を並列に配置している。

【0019】このとき、2つの1/2波長板16、17は、互いに表裏が逆の配置になっている。また、1/2波長板16、17の光学軸は、±22.5度としている。さらに、ファラデー回転子18は、順方向の入射偏光の方位を反時計方向に45度回転させるようになっている。

【0020】なお、非相反部12は、図2に示すように、第1のPBS11側に1/2波長板16、17を配置し、その外側にファラデー回転子18を配置するように構成してももちろんよい。

【0021】[4個の端子ユニットと他の複合偏光ビームスプリッタとの関係]ポート1の端子ユニット10-1とポート2の端子ユニット10-2とが、所定の距離だけ離れた状態で対向する配置関係になっている。同様

に、ポート3の端子ユニット10-3とポート4の端子ユニット10-4とが、所定の距離だけ離れた状態で対向する配置関係になっている。そして、各ユニット間の離反距離は、同じにしている。さらに、ポート1の端子ユニット10-1とポート3の端子ユニット10-3が隣接し、また、ポート2の端子ユニット10-2とポート4の端子ユニット10-4が隣接するようにしている。

【0022】そして、対向する端子ユニット間に形成される空間内に、4個の複合偏光ビームスプリッタ20a, 20b, 30a, 30bが適宜位置に配置される。つまり、ポート1の端子ユニット10-1とポート2の端子ユニット10-2の間に、第2の複合偏光ビームスプリッタ（以下、「第2のPBS」という）20a及び補償用複合偏光ビームスプリッタ（以下、「補償用PBS」という）30aを直列的に配置する。

【0023】そして、ポート1の端子ユニット10-1側に補償用PBS30aを位置させ、その端子ユニット10-1と補償用PBS30aとを近接させる。また、第2のPBS20aとポート2の端子ユニット20-2は所定の距離だけ離れるようにしている。

【0024】同様に、ポート3の端子ユニット10-3とポート4の端子ユニット10-4の間にも、第2のPBS20b及び補償用PBS30bを直列的に配置する。そして、ポート4の端子ユニット10-4側に補償用PBS30bを位置させ、その端子ユニット10-4と補償用PBS30bとを近接させる。

【0025】さらに、第2のPBS20bとポート3の端子ユニット20-3は所定の距離だけ離れるようにし、第2のPBS20a, 20b同士が隣接するようにしている。

【0026】また、第2のPBS20a, 20b及び補償用PBS30a, 30bは、本実施の形態では、同一構成のものを用いており、ともに2つの直角二等辺三角形プリズム21, 22(31, 32)の底面同士で、偏光分離膜23(33)を挟んで一体化された矩形状に形成されている。そして、各偏光分離膜23, 33が平行になるように配置されている。

【0027】より具体的には、補償用PBS30aの偏光分離膜33と、第2のPBS20aの偏光分離膜23が対向し、第2の偏光分離膜20a, 20bの偏光分離膜23, 23同士が対向するようにしている。さらに、補償用PBS30bの偏光分離膜33と、第2のPBS20bの偏光分離膜23が対向するようになる。

【0028】次に、上記した構成の光サーキュレータの動作原理、すなわち、順方向と逆方向の光路について説明する。

【0029】[ポート1からポート2への光路] この順方向の光路を図3に示している。ポート1の端子ユニット10-1において、光ファイバからの出射光線がレン

ズでコリメートされ、第1のPBS11に入射し、偏光分離膜15でP偏光とS偏光に分離される。P偏光成分は偏光分離膜15を透過し、S偏光成分は偏光分離膜15で反射して平行四辺形プリズム14でも反射する。

【0030】その結果、P偏光とS偏光は第1のPBS11から平行に出射する。P偏光方位は0度であり、1/2波長板16の光学軸方位は-22.5度であるから、P偏光成分は1/2波長板16を通過して偏光方位は-45度となり、逆にファラデー回転子18で反時計方向に45度回転するので偏光方位は0度であり、P偏光のままである。

【0031】一方、S偏光方位は90度であり、1/2波長板17の光学軸方位は+22.5度であるから、S偏光成分は1/2波長板17を通過して偏光方位は-45度となり、さらにファラデー回転子18で反時計方向に45度回転するので偏光方位は0度となり、第1のPBS11側から見てP偏光に変換される。

【0032】したがって、端子ユニット10-1の非相反部12からは2本のP偏光の光線として出射され、補償用PBS30a, 第2のPBS20aの偏光分離膜33, 23を透過してそのまま直進し、ポート2の端子ユニット10-2の1/2波長板16, 17に入射する。上記した端子ユニット10-1側の非相反部12と同様に端子ユニット10-2側の非相反部12でも、1/2波長板16, 17並びにファラデー回転子18の順に通過する際に、同一方向に22.5度ずつあるいは正逆方向に22.5度ずつ偏波面が回転する。

【0033】すなわち、ポート2の端子ユニット10-2において、ポート1側からの前記のP偏光ビームの偏光方位は端子ユニット10-2の出力方向から見て-45度であり、1/2波長板17の光学軸方位は出力方向から見て+22.5度であるから、1/2波長板17を透過した成分の偏光方位は90度となり、S偏光として平行四辺形プリズム14と偏光分離膜15で反射する。逆に1/2波長板16の光学軸方位は出力方向から見ると-22.5度であるから、1/2波長板16を通過した成分の偏光方位は0度となり、P偏光として偏光分離膜15を透過する。よってS偏光とP偏光は1本の光線に合成され、ポート2に偏波依存性無く結合される。

【0034】[ポート2からポート3への光路] この順方向の光路を図4に示している。上記したポート1からポート2への光路で説明した動作原理と同様に、ポート2から入射した光は端子ユニット10-2の第1のPBS11でP偏光、S偏光に分離される。それぞれ非相反部12では、P偏光は90°偏波面が回転されてS偏光に、S偏光は回転せずS偏光のまま第2のPBS20aに入射される。

【0035】そして、S偏光になった二つの光は、中央の第2のPBS20aの偏光分離膜23で反射されて光路が図中下側に90度変換され、第2のPBS20bに

10

20

30

40

50

入射される。そして、この第2のPBS20bでもS偏光であるので、偏光分離膜23で再度反射されてポート3の端子ユニット10-3に向けて進む。このように、偏光分離膜23で2回反射されて端子PBSユニット10-3の非相反部12に入射される。

【0036】端子ユニット10-2でP偏光からS偏光に反転した光は端子ユニット10-3の非相反部12で偏波面が回転せずS偏光のままとなり、一方、端子ユニット10-2でS偏光のまま出射された光は端子ユニット10-3の非相反部12で偏波面が90°回転されてP偏光に反転する。よって、端子ユニット10-3の第1のPBS11の偏光分離膜15で合成されてポート3に偏波依存性なく結合され、出射される。

【0037】[ポート3からポート4への光路]この順方向の光路は、図3に示している。上記したポート1からポート2に伝搬する場合と同様に、ポート3の端子ユニット10-3から入射された光は、適宜偏波面が回転されながら直進し、ポート4の端子ユニット10-4に入射され、その端子ユニット10-4の第1のPBS11内の偏光分離膜15で合成されてポート4に偏波依存性なく結合され、出射される。

【0038】このように、ポート1から入射された光はポート2から出射され、ポート2から入射された光はポート3から出射され、ポート3から入射された光はポート4から出射されるようになる。

【0039】一方、PBSを用いた光サーキュレータのアイソレーション特性の劣化原因としてはPBSの偏光分離能力(消光比)不足と、偏波面を回転させる素子の回転角のずれとによって生じる伝搬すべき偏波に含まれる直交偏波成分が漏洩光となって結合されてしまうためである。そこで、この逆方向に進む光(漏洩光)の光路について説明する。

【0040】[ポート2からポート1への漏洩経路]この漏洩経路を図5に示している。端子ユニット10-2において、第1のPBS11の消光比と非相反部12の回転誤差による漏洩光成分はP偏光である。P偏光は第2のPBS20a、補償用PBS30aをそのまま透過して直進し、端子ユニット10-1の非相反部12に入射される。端子ユニット10-1の非相反部12で1/2波長板16を透過する光は回転せず、1/2波長板17を透過する光は偏波面が90°回転してS偏光になる。従って、端子ユニット10-1内の第1のPBS11の偏光分離膜15で、P偏光は透過し、S偏光は反射するので、端子ユニット10-1からはポート1がない面に出射される。なお、端子ユニット10-1の第1のPBS11の偏光分離膜15においても、消光比不足により反射されてポート1側に進む光があるが、すでに減衰されているので結果として2回減衰されるため、無視できる程度の光の量となる。

【0041】一方、ポート2の端子ユニット10-2か

ら出射される順方向成分はS偏光である。図4にしたように、係るS偏光は、そのほとんどが第2のPBS20aの偏光分離膜23で反射され、最終的にポート3に結合される。しかし、この第2のPBS20aの偏光分離膜23における消光比不足によりP偏光の一部が透過してしまう成分がある。

【0042】係る透過した漏洩光の光路について着目すると、図6に示すように、補償用PBS30aに入射され、その多くの成分が補償用PBS30a内の偏光分離膜33で反射されるので、ポート1に結合されない。もちろん他のポートにも結合されない。

【0043】そして、この補償用PBS30aの偏光分離膜33でも、消光比不足により一部が透過してしまい、係る透過したP偏光は、図中、破線で示す光路を通過してポート1に結合される。但し、この偏光分離膜33を透過する際にも所定量減衰されるので、最終的にポート1の端子ユニット10-1内に入射される光は、第2のPBS20aと補償用PBS30aの2つの偏光分離膜23、33を透過したものとなるので2乗の減衰ができ、ほとんど問題がない程度の量の光がポート1から出射される。

【0044】[ポート3からポート2への漏洩光]端子ユニット10-3から出射される漏洩光成分はS偏光である。そこで、図7に示すように、2つの第2のPBS20b、20aの偏光分離膜23で2回反射されて端子ユニット10-2の非相反部12に入射される。そして、端子ユニット10-2の非相反部12で1/2波長板17及びファラデー回転子18を通過させて光の偏波面を90°回転させてP偏光にし、また、1/2波長板16及びファラデー回転子18を通過させた光は回転せずにS偏光のままとする。これにより、端子ユニット10-2の第1のPBS11の偏光分離膜15で合成され、ポート2がない面に出射される。なお、端子ユニット10-2の第1のPBS11の偏光分離膜15においても、消光比不足により反射されてポート2側に進む光があるが、すでに減衰されているので結果として2回減衰されるため、無視できる程度の光の量となる。

【0045】一方、ポート3の端子ユニット10-3から出射される順方向成分はP偏光である。図3に示したように、係るP偏光は、そのほとんどが第2のPBS20bの偏光分離膜23を透過するが、わずかに反射してしまう成分がある。しかし、係る反射した漏洩光も、図8にその光路を示すように、2つの第2のPBS20b、20aの偏光分離膜23、33を反射しなければポート2に結合されないため、2乗の減衰ができ、ほとんど問題がない程度の量の光がポート2から出射されることになる。

【0046】また、順方向に進み第2のPBS20bを透過したS偏光は、補償用PBS30bの偏光分離膜33をさらに透過するが、その一部は消光比不足により反

射されてしまう。しかし、係る反射された光は、図8から明らかなように、ポートのない部分に進むため、ポート2に結合することはない。

【0047】[ポート4からポート3への漏洩光] ポート4から入射される光は、上記したポート2からポート1への漏洩光と同様で、端子ユニット10-4で生じる漏洩光であるP偏光は、図5に示すような光路をとり、ポート3には結合されないか、仮にされたとしても非常にごくわずかである。

【0048】なお、ポート4から入射された順方向の光は、S偏光であるので、補償用PBS30bの偏光分離膜33で反射されるため、どのポートにも結合されない。

【0049】以上の結果、例えばPBSの消光比や非相反部の回転誤差により生じる漏れ光を30dBとすると、ポート4→3→2→1の逆方向のアイソレーションは、それぞれ各経路で少なくとも30dBずつ2回減衰されるので、結果として60dB減衰されることになり、充分に高いアイソレーションを実現できることになる。

【0050】そして、実際に上記構成のサーキュレータを作成し、各ポート間の挿入損失並びにアイソレーションを測定した。比較例として、図9に示すように2つのPBS11の間に1/2波長板16、ファラデー回転子18を挿入した構造のサーキュレータを製造し、各ポート間の順方向の挿入損失及び逆方向のアイソレーションを測定した。

【0051】その結果、比較例のものでは、順方向での挿入損失は、1.12dB±0.01であったのに対し、本発明品では1.52dB±0.01となり、若干損失が大きくなるものの、実用上は問題がない程度におさまる。一方、逆方向では、下記表に示すように比較例では約30dB程度であったものが、本発明品では54dB以上に改善され、非常に高性能のアイソレーションが得られることが確認できた。

【0052】

【表1】

ポート	アイソレーション (dB)	
	本発明品	比較品
2→1	54.1	29.1
3→2	54.5	29.8
4→3	54.2	29.5

図11は、本発明の光サーキュレータの第2の実施の形態を示している。本例では、上記した第1の実施の形態の構成において、隣り合う2個の前記端子ユニットの構成要素の一部を共通の部品で構成するようにしている。

【0053】具体的には、図1に示す構造の端子ユニット10-1、10-2、10-3、10-4を90度回転させて横にする。すると、奇数番ポートの端子ユニ

ット(10-1と10-3)及び偶数番ポートの端子ユニット(10-2、10-4)の第1のPBS11を構成する直角二等辺三角プリズム13及び平行四辺形プリズム14が互いに対向する。そこで、それらを一体化し、部品の共通化を図った。つまり、細長い直角二等辺三角プリズム13'と、細長い平行四辺形プリズム14'を偏光分離膜15'を挟んで接合一体化して第1のPBS11'を形成する。

【0054】これにあわせ、図1に示す非相反部12も90度回転させて横にする。すると、隣接する2個の非相反部12を構成する1/2波長板16は、三角プリズム3と対向し、1/2波長板17は平行四辺形プリズム4と対向するので、非相反部16同士、また、非相反部17同士が上下に並ぶため、それらを一体化する。よって、図10に示すように、細長い直方体からなる1/2波長板16'、17'を接合することにより、一体化する。

【0055】また、ファラデー回転子18は、磁界の方向に対しての回転方向を互い違いにすべく、そのファラデー回転子18は別部材で構成した。これにより、2つのファラデー回転子の周囲を囲むようにした1個の磁石19で共通化を図れる。よって、図10に示すように、端子ユニットを構成する各部品が、ファラデー回転子18を除き半減することができ、組み立て等も容易になる。

【0056】そして、本実施の形態では、端子ユニットに配置される第1のPBSの偏光分離膜15'の傾斜方向が、図1に示す第1の実施の形態のそれと90度異なることから、偏光分離膜15'で反射及び透過することにより分離されたP偏光とS偏光は水平平面内を進む(第1の実施の形態では、垂直平面内を進む)ようになり、それにともない各PBS20a、20b、30a、30b内でもそれぞれ所定の水平平面内を進むことになる。

【0057】但し、このように光路の位置が異なるだけで、非相反部での偏波面の回転の有無は第1の実施の形態と同様となる。したがって、各PBSの偏光分離膜における透過・反射が適宜行われ、第1の実施の形態と同一の動作原理にしたがって光が進み、各ポートから入射された光は、所望のポートに出力される。

【0058】また、逆方向の戻り光や漏洩光は、ポートが存在しない部分から出射されるか、あるいは仮にポートに結合されたとしても、2回減衰されるので、実用上問題のない程度の非常に小さい量となり、誤作動を生じない。

【0059】図11は、本発明に係る光サーキュレータの第3の実施の形態を示している。同図に示すように、本実施の形態は、上記した第1の実施の形態を基準とし、補償用部材としてPBS30a、30bに替えてガラス偏光子40a、40bを設けている点で構造上相違



11

する。そして、このガラス偏光子40a, 40bは、各ポート間を進む順方向の光の偏波面を透過するようにその光学軸が設定されている。つまり、各端子ユニット10-1~10-4の構成は、第1の実施の形態と同様にしている。

【0060】係る構成にすると、順方向の光は、ガラス偏光子40a, 40bを透過するので、第1の実施の形態と同様の光路を通り、ポート1から入射された光はポート2から出射され、ポート2から入射された光はポート3から出射され、ポート3から入射された光はポート4から出射されるようになる。

【0061】そして、各ポートからの逆方向の光は、その偏波面が順方向と逆になるので、漏洩光はガラス偏光子40a, 40bを透過できずに吸収される。したがって、ガラス偏光子40a, 40bよりも戻ることにはできず、ポートに結合されない。なお、このガラス偏光子40a, 40bで発生する漏洩光が端子ユニット側に進むことがあるが、ガラス偏光子40a, 40bに入射される前に、一度第2のPBS20a, 20bを透過する際に減衰されているので、結果として2度減衰されることになり、その漏洩光の量はごくわずかとなる。したがって、上記した各例と同様に実用上問題がなく、高アイソレーションを発揮することができる。

【0062】そして、本実施の形態のようにガラス偏光子40a, 40bを用いたタイプでも、上記した図10と同様に、端子ユニットを共通化することができる。すなわち、図12に示すように、端子ユニット10-1, 10-2, 10-3, 10-4を90度回転させて横にし、奇数番ポートの端子ユニット(10-1と10-3)及び偶数番ポートの端子ユニット(10-2, 10-4)の第1のPBS11'を共通化する。さらに、非相反部12'も90度回転させて横にし、細長な直方体からなる1/2波長板16', 17'を接合することにより、一体化する。

【0063】その様に、部品の共通化ができ、組み立ても容易になる。そして、動作原理は、端子ユニットの偏光分離膜で分離される光が水平平面内を進むことを除き、第3の実施の形態と同様の動作原理に従い、順方向の光は所望のポートから出射させることができ、また、逆方向の光はその途中で吸収・遮断し、ポートに結合しないようになる。

【0064】図13は、本発明に係る光サーキュレータの第4の実施の形態を示している。同図に示すように、本実施の形態は、上記した第1, 第3の実施の形態を基準とし、補償用部材として複屈折板45a, 45bを設けている点で構造上相違する。そしてこの複屈折板45a, 45bの光学軸は、第2のPBS20a, 20bのP偏光が複屈折板45a, 45bに対して常光か異常光の関係になるように設定する(本例では、「常光」になるようにした)。なお、その他の構成は、上記した各実

12

施の形態と同様であるので、その詳細な説明を省略する。

【0065】係る構成にすると、ポート1からポート2に進む順方向の光は、図14に示すように、端子ユニット10-1から出射された光はP偏光であるので、複屈折板45aでシフトせず、そのまま直進し、第2のPBS20aに入射する。従って上記した第1の実施の形態と同様の光路を通り、ポート1から入射された光はポート2から出射される。また、同様の原理によりポート3から入射された光も複屈折板45bでシフトしないので、ポート4から出射される。さらに、ポート2から入射された光は、図15に示すような光路を通り、複屈折板45a, 45bを通過しない。従って、上記した第1の実施の形態等と同様の原理に従って、ポート3より出射する。

【0066】一方、逆方向の光の漏洩光成分については、基本的には第1の実施の形態と同様である。すなわち、第2のPBS20a, 20bの消光比不足に起因する漏洩光成分を第1の実施の形態では補償用PBS30a, 30bで反射していたのに対し、本実施の形態では、複屈折板45a, 45bでシフトすることで漏洩光成分を減衰するようにしている。

【0067】具体的には、ポート2からポート1への戻り光は、ポート2側の端子ユニット10-2の第1のPBS11並びに非相反部12で生じる漏洩成分は、P偏光となる。従って、図16に示すように、第2のPBS20aをそのまま透過し、複屈折板45aに至る。そして、P偏光であるので、複屈折板45aでもシフトせず、直進する。従って、第1の実施の形態等と同様に、その多くはポート1のない方向に出射され、ポート1に出射される光(図中破線で示す)は、2回減衰されたわずかな量となる。

【0068】また、ポート2からの順方向の光は、S偏光であるので、図17に示すように、第2のPBS20aで反射されるが、その第2のPBS20aにおける消光比不足により、その減衰された一部の光が直進する。この点は、上記した各実施の形態と同様である。

【0069】そして、係る光は、複屈折板45aに入射される。すると、S偏光であるので、その複屈折板45aを通過する際に、シフトされる(同図(B)参照)。その後は、そのシフトされて高さ位置が異なる面で光が進むので、ポート1に結合されない。なお、複屈折板によるシフト量は物理的にはわずかであるが、ポート1の径に比べると十分に大きいので問題がない。

【0070】また、ポート3からポート2に対する戻り光は、図18, 図19に示すように、複屈折板を通らないので、上記した第1の実施の形態と同様の原理により、ポート2に結合しないか、しても問題がない程度の量となる。

【0071】さらに、ポート4からポート1への戻り光

は、ポート2からポート1への戻り光と同様の原理により、複屈折板45bによりシフトされたりすることにより、ポート3に結合されない(図20参照)か、されたとしてもごくわずかである(図16, 図20参照)。従って、上記したような原理により、本実施の形態でも高アイソレーションが確保される。

【0072】そして、本実施の形態のように複屈折板45a, 45bを用いたタイプでも、上記した各実施の形態と同様に、端子ユニットを共通化することができる。すなわち、図21に示すように、端子ユニット10-1, 10-2, 10-3, 10-4を90度回転させて横にし、奇数番ポートの端子ユニット(10-1と10-3)及び偶数番ポートの端子ユニット(10-2, 10-4)の第1のPBS11'を共通化する。さらに、非相反部12'も90度回転させて横にし、細長な直方体からなる1/2波長板16', 17'を接合することにより、一体化する。

【0073】その様に、部品の共通化ができ、組み立ても容易になる。そして、動作原理は、端子ユニットの偏光分離膜で分離される光が水平平面内を進むことを除き、第4の実施の形態と同様の動作原理に従い、順方向の光は所望のポートから出射させることができ、また、逆方向の光はその途中でその光路をシフトしたり、吸収・反射したりして、ポートに結合しないようになる。

【0074】

【発明の効果】本発明では複屈折結晶を使用せずに、偏光ビームスプリッタを偏光分離手段および光路決定手段として用いているので、製作が容易で安価であり、しかも分離距離を十分に大きくとっても小型の偏光ビームスプリッタで済む。また偏光ビームスプリッタの消光比があまり高くないことから、従来、このタイプで低損失かつ高アイソレーションの光サーキュレータを実現することができなかったが、本発明の構成によれば消光比や回転誤差によって生じる漏れ光が他のポートに達しないので高いアイソレーションを実現できる。また、偏光ビームスプリッタの通過後の分離距離は入射角度に依存しないので、各構成要素の組立・調整が容易である。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明に係る光サーキュレータの第1の実施の形態を示す構成図である。

【図2】端子ユニットの別の構成を示す図である。

【図3】図1に示す光サーキュレータの作用説明図その1である。

【図4】図1に示す光サーキュレータの作用説明図その2である。

【図5】図1に示す光サーキュレータの作用説明図その3である。

【図6】図1に示す光サーキュレータの作用説明図その4である。

【図7】図1に示す光サーキュレータの作用説明図その

5である。

【図8】図1に示す光サーキュレータの作用説明図その6である。

【図9】比較例の光サーキュレータを示す図である。

【図10】本発明の光サーキュレータの第2実施の形態を示す構成図である。

【図11】本発明の光サーキュレータの第3の実施の形態を示す構成図である。

【図12】本発明の光サーキュレータの他の実施の形態を示す構成図である。

【図13】本発明の光サーキュレータの第4の実施の形態を示す構成図である。

【図14】図13に示す光サーキュレータの作用説明図その1である。

【図15】図13に示す光サーキュレータの作用説明図その2である。

【図16】図13に示す光サーキュレータの作用説明図その3である。

【図17】図13に示す光サーキュレータの作用説明図その4である。

【図18】図13に示す光サーキュレータの作用説明図その5である。

【図19】図13に示す光サーキュレータの作用説明図その6である。

【図20】図13に示す光サーキュレータの作用説明図その7である。

【図21】本発明の光サーキュレータの他の実施の形態を示す構成図である。

【符号の説明】

1 カップリングレンズ

2 光ファイバ

10-1, 10-2, 10-3, 10-4 端子ユニット

11 第1の複合偏光ビームスプリッタ

12 非相反部

13 直角二等辺三角プリズム

14 平行四辺形プリズム

15 偏光分離膜

16, 17 1/2波長板

40 18 ファラデー回転子

20a, 20b 第2の複合偏光ビームスプリッタ

21, 22 直角二等辺三角プリズム

23 偏光分離膜

30a, 30b 補償用複合偏光ビームスプリッタ(補償部材)

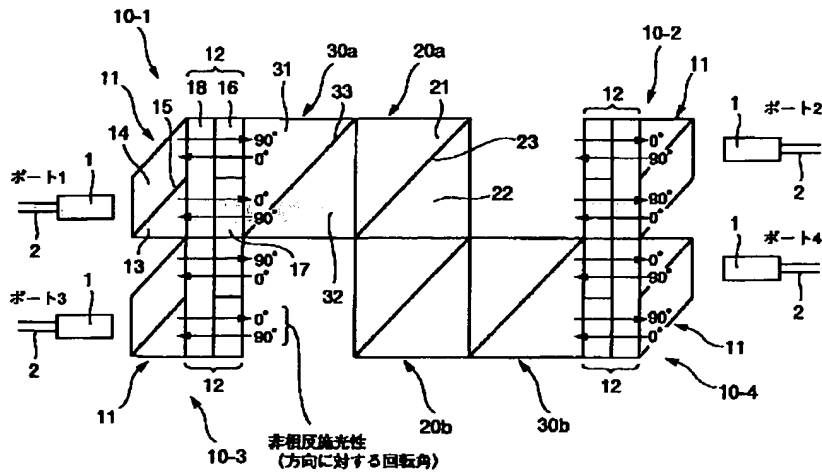
31, 32 直角二等辺三角プリズム

33 偏光分離膜

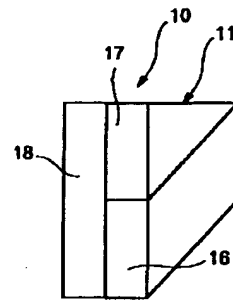
40a, 40b ガラス偏光子(補償部材)

45a, 45b 複屈折板(補償部材)

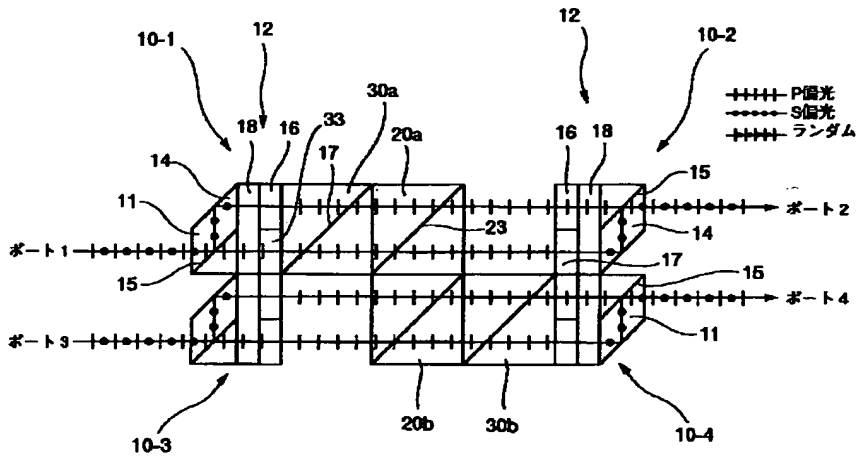
【図1】



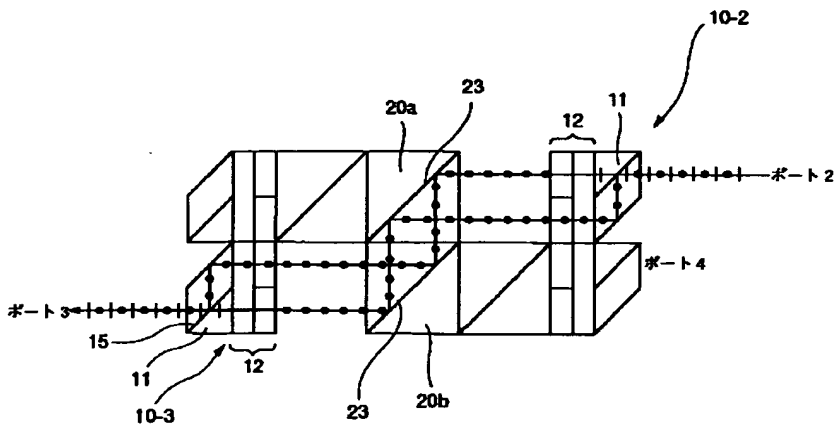
【図2】



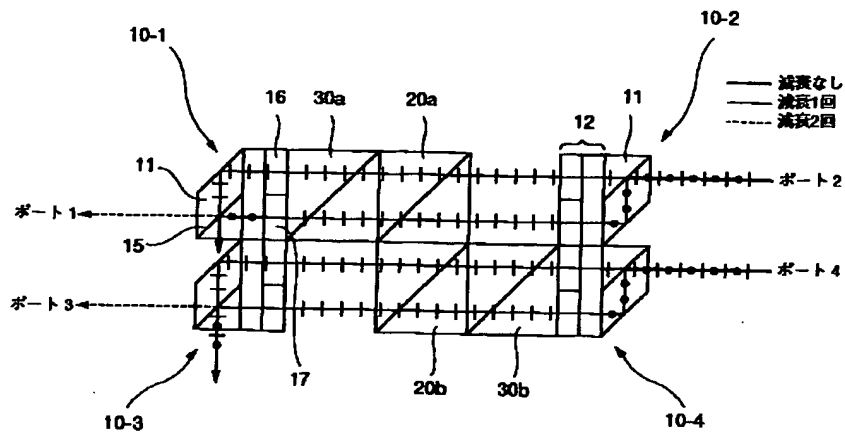
【図3】



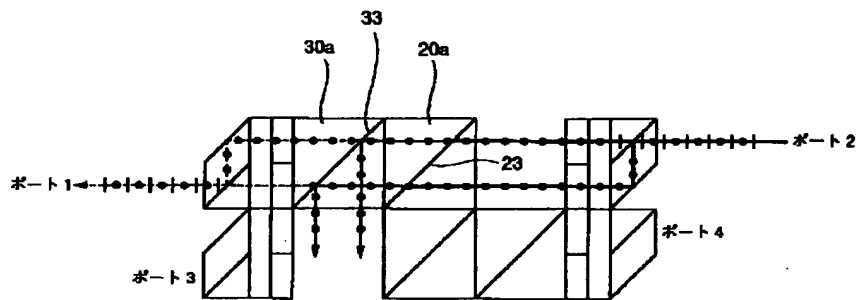
【図4】



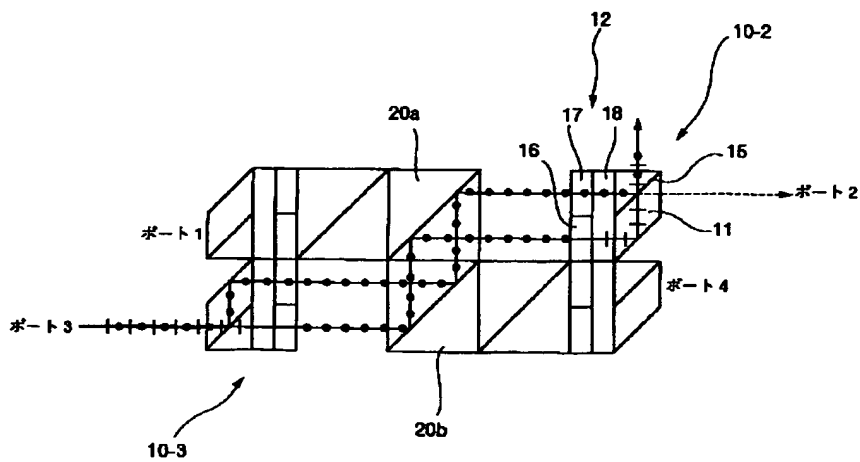
【図5】



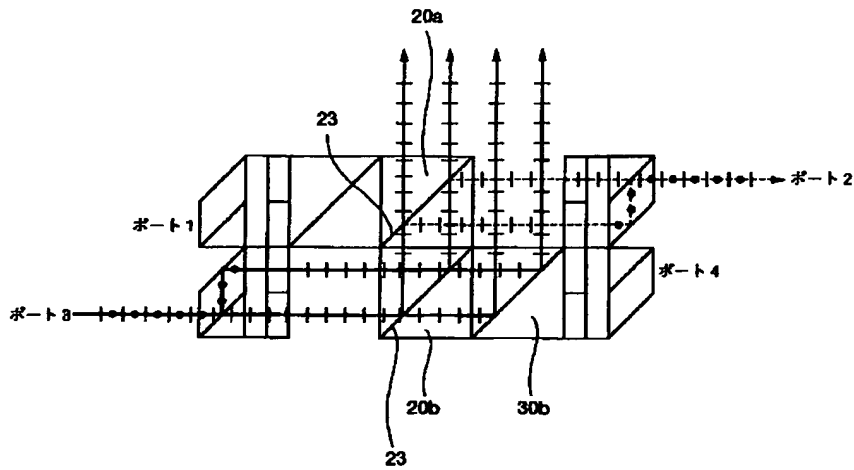
【図6】



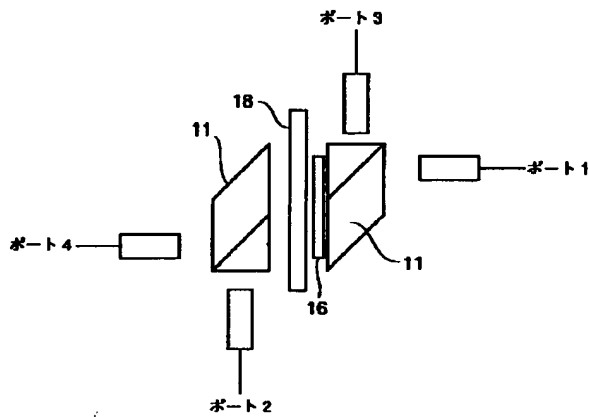
【図7】



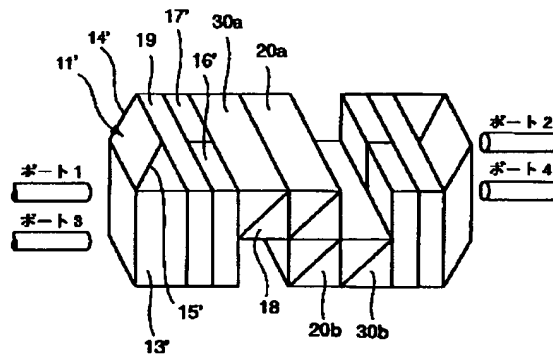
【図8】



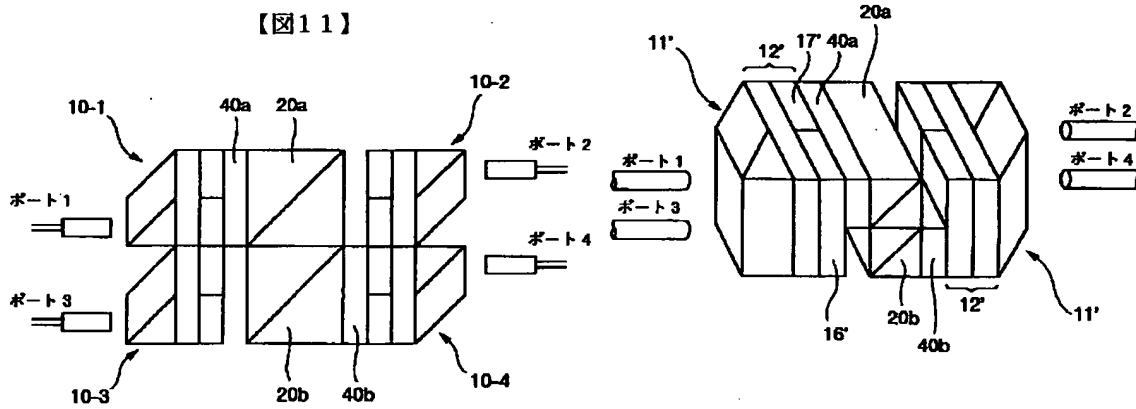
【図9】



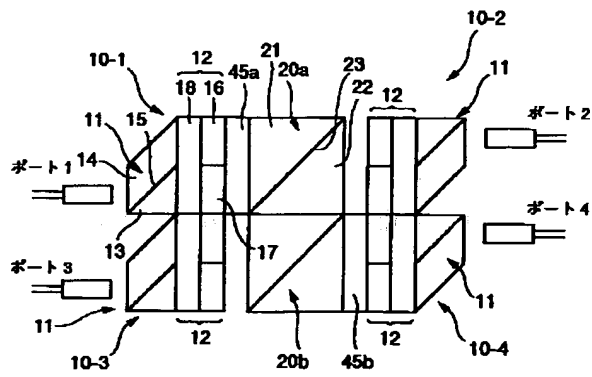
【図10】



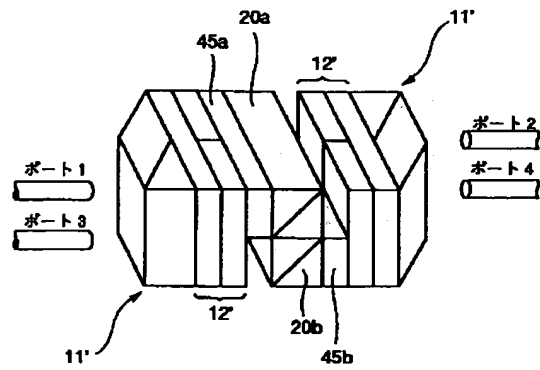
【図12】



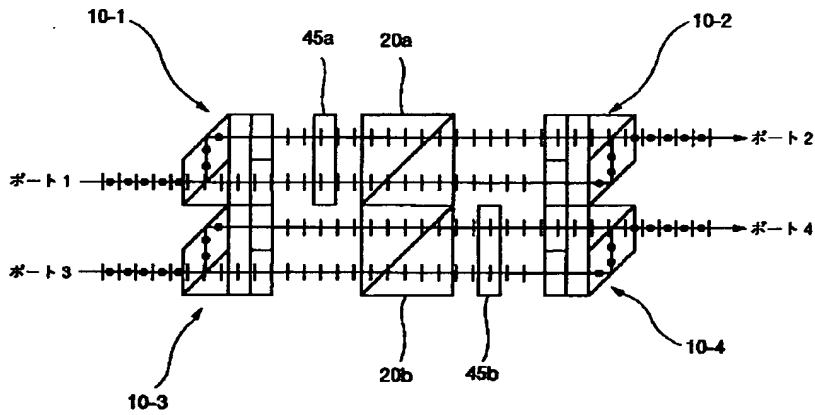
【図13】



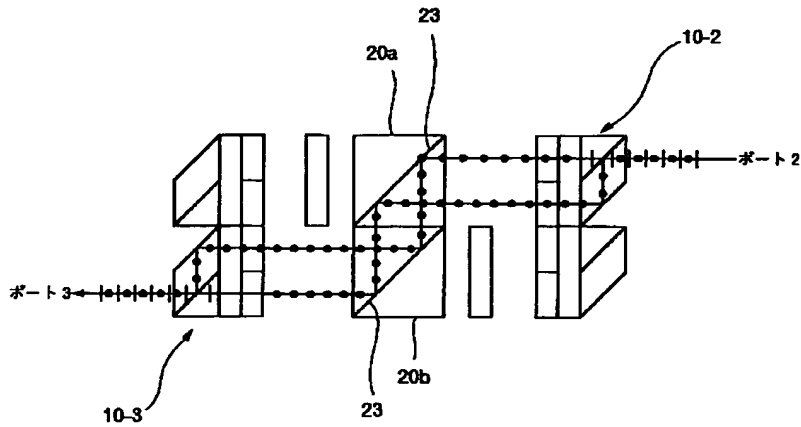
【図21】



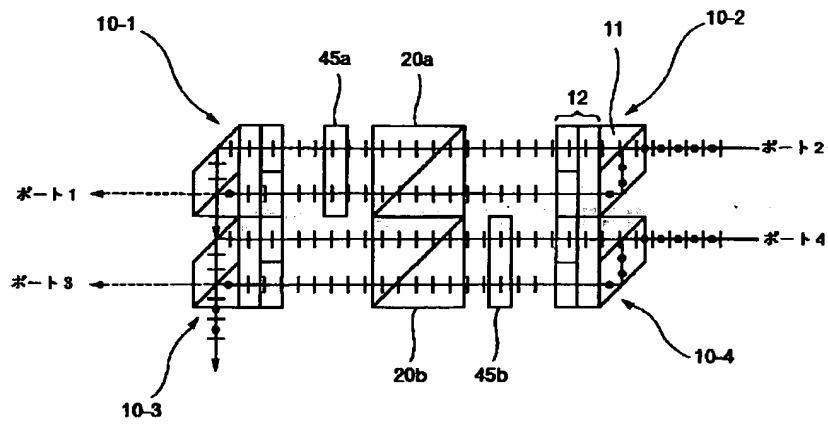
【図14】



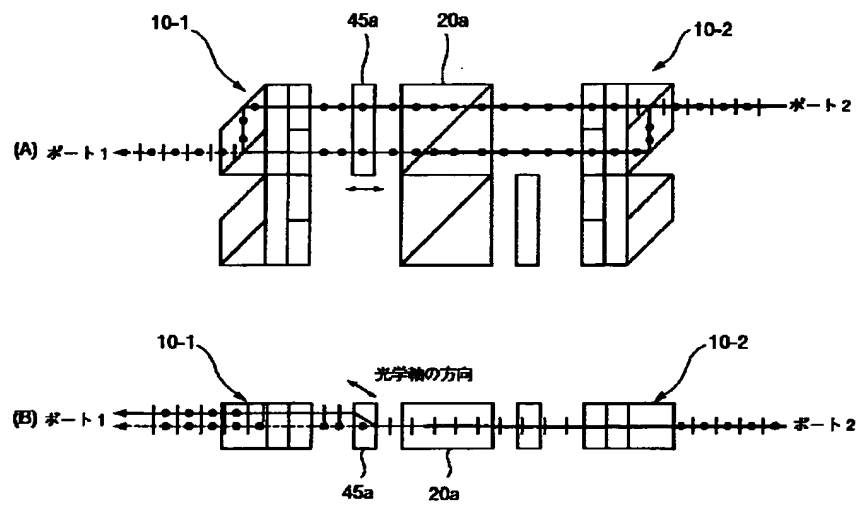
【図15】



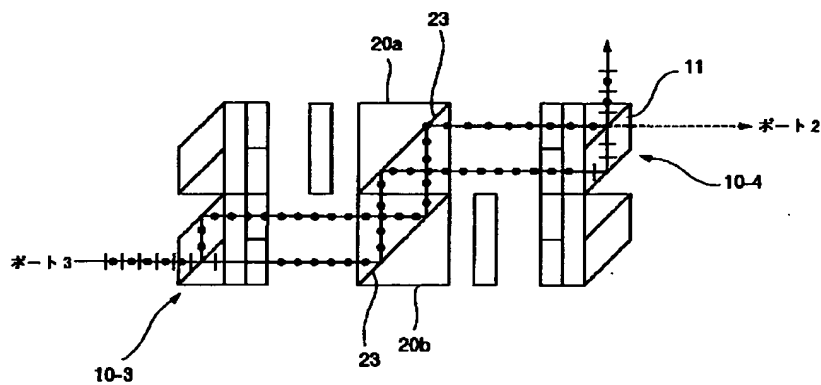
【図16】



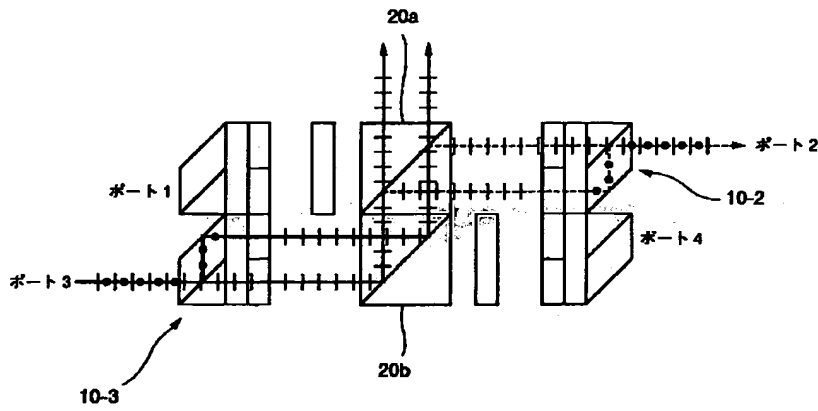
【図17】



【図18】



【図19】



【図20】

